



BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
DỰ ÁN “ĐẨY MẠNH ĐỔI MỚI SÁNG TẠO THÔNG QUA
NGHIÊN CỨU, KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ”

BÁO CÁO TÓM TẮT TỔNG KẾT

TIÊU DỰ ÁN: “TIẾP THU VÀ LÀM CHỦ CÔNG NGHỆ DỰ BÁO BẢO HẠN MÙA BẰNG MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC PHỤC VỤ CÔNG TÁC BẢO ĐẢM AN TOÀN CHO CÁC HOẠT ĐỘNG KINH TẾ - XÃ HỘI VÀ AN NINH TRÊN KHU VỰC BIỂN ĐÔNG - VIỆT NAM”

Thỏa thuận tài trợ số: 17/FIRST/1a/VNU2

Đơn vị thụ hưởng: Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG Hà Nội

Chủ nhiệm: GS. TS. Phan Văn Tân

Hà Nội, tháng 07 năm 2019

BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
DỰ ÁN “ĐẨY MẠNH ĐỔI MỚI SÁNG TẠO THÔNG QUA
NGHIÊN CỨU, KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ”

BÁO CÁO TÓM TẮT TỔNG KẾT TIỂU DỰ ÁN

Tên tiểu dự án: Tiếp thu và làm chủ công nghệ dự báo bão hạn mùa bằng mô hình động lực phục vụ công tác bảo đảm an toàn cho các hoạt động kinh tế - xã hội và an ninh trên khu vực Biển Đông – Việt Nam

Thỏa thuận tài trợ số: 17/FIRST/1a/VNU2

Thời gian thực hiện: 24 tháng, từ 6/2017 đến 6/2019

Đơn vị thụ hưởng: Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG Hà Nội

Chủ nhiệm: GS. TS. Phan Văn Tân

Hà Nội, tháng 07 năm 2019

1. THÔNG TIN CHUNG

1.1 Tên tiêu dự án: *Tiếp thu và làm chủ công nghệ dự báo bão hạn mùa bằng mô hình động lực, phục vụ công tác bảo đảm an toàn cho các hoạt động kinh tế - xã hội và an ninh trên khu vực Biển Đông - Việt Nam*

1.2 Đơn vị thụ hưởng: *Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG Hà Nội*

1.3 Tổng kinh phí thực hiện:

- Kinh phí do FIRST tài trợ: **4.023.226.323 VNĐ** (*Bốn tỷ không trăm hai mươi ba triệu hai trăm hai mươi sáu nghìn ba trăm hai mươi ba đồng*), tương đương: **177.001 USD** (*Một trăm bảy mươi bảy nghìn không trăm linh một đô la Mỹ*) theo tỷ giá mua chuyển khoản ngày 16/03/2017 của BIDV là 1 USD = 22.730 VNĐ

- Kinh phí từ đơn vị thụ hưởng: 0

- Từ nguồn khác: 0

1.4 Thời gian thực hiện: 24 tháng kể từ ngày ký thỏa thuận tài trợ (01/06/2017)

2. TỔNG QUAN VỀ TIÊU DỰ ÁN

Bão nói riêng, xoáy thuận nhiệt đới nói chung, là một trong những hiện tượng thời tiết nguy hiểm. Việt Nam có đường bờ biển dài trên 3000 km, chạy theo hướng bắc - nam, hàng năm phải chịu ảnh hưởng của khoảng 10-12 cơn bão trên Biển Đông. Sự xuất hiện của bão thường kéo theo mưa lớn, gió mạnh, sóng to, nước dâng ven bờ, có thể gây nên những thiệt hại lớn về tài sản và con người ở những nơi mà nó đi qua.

Trong *dự báo thời tiết*, dự báo bão là dự báo quỹ đạo và cường độ của một cơn bão cụ thể sau khi nó đã hình thành và đang trong quá trình di chuyển, với hạn dự báo thường là 2-3 ngày. Dự báo bão thời tiết có thể cung cấp thông tin cho việc *ứng phó khẩn cấp* với tác động của cơn bão đang hoạt động.

Khác với dự báo bão thời tiết, *dự báo bão hạn mùa* không dự báo cho một cơn bão cụ thể, mà cung cấp thông tin dự báo về số lượng và vùng hoạt động của các cơn bão có thể xuất hiện trong mùa tới, hoặc chi tiết hơn trong 1, 2, 3, 4, 5, 6 tháng tới.

Rõ ràng, đối với những hoạt động kinh tế - xã hội diễn ra nhiều ngày, thậm chí hàng tháng, trên biển, như hoạt động đánh bắt hải sản, tuần tra, tìm kiếm cứu nạn, lập kế hoạch hành động ứng phó với thiên tai nói chung, bão nói riêng, thì **hạn dự báo** của các bản tin dự báo thời tiết **không còn khả năng đáp ứng**. Trong trường hợp này **dự báo bão hạn mùa** là cực kỳ quan trọng và cần thiết.

Nhận thấy rằng, đây là **cơ hội thuận lợi** để Việt Nam có được một hệ thống dự báo bão hạn mùa đáp ứng được nhu cầu thực tiễn, rút ngắn được thời gian và

giảm thiểu rủi ro trong đầu tư nghiên cứu, dự án này đã được đề xuất và đã nhận được sự tài trợ của Dự án “Đẩy mạnh đổi mới sáng tạo thông qua nghiên cứu khoa học và công nghệ” (“Fostering innovation through Research, Science, and Technology” - FIRST). Đó là lý do hình thành dự án này trong khuôn khổ gói tài trợ cho **chuyên gia giỏi nước ngoài** về Khoa học, Công nghệ và Đổi mới sáng tạo.

Dự án đặt ra hai mục tiêu chung là:

- 1) Thiết lập được một hệ thống nghiệp vụ dự báo bão hạn mùa cho Việt Nam, góp phần hỗ trợ ra quyết định trong việc lập kế hoạch phòng tránh thiên tai, tìm kiếm cứu nạn, hoạt động kinh tế - xã hội, an ninh trên biển và trên đất liền;
- 2) Tăng cường năng lực nghiên cứu khoa học trong lĩnh vực dự báo bão cho đội ngũ cán bộ Việt Nam, góp phần mở rộng quan hệ quốc tế, tăng cường cơ sở vật chất, điều kiện làm việc, nâng cao chất lượng đào tạo và nghiên cứu khoa học, nâng cao vị thế của Việt Nam trên trường quốc tế.

Các mục tiêu cụ thể của dự án là:

- 1) Xây dựng và phát triển được một hệ thống nghiệp vụ dự báo bão hạn mùa (HTDBBHM) cho Việt Nam với hạn dự báo đến 6 tháng;
- 2) Thiết lập được một hệ thống tính toán hiệu năng cao (HPC) kèm theo các phần mềm chuyên dụng và HTDBBHM đã được cài đặt và chạy dự báo ở chế độ nghiệp vụ;
- 3) Nâng cao trình độ chuyên môn nghiệp vụ cho các cán bộ tham gia dự án thông qua các đợt thực tập ở nước ngoài và làm việc cùng chuyên gia ở Việt Nam;
- 4) Góp phần củng cố và tăng cường mối quan hệ hợp tác quốc tế, tăng cường cơ sở vật chất phục vụ công tác đào tạo và nghiên cứu khoa học.

Thời gian thực hiện dự án theo Hợp đồng ký kết giữa Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội và Ban Quản lý Dự án FIRST là 24 tháng, từ 01 tháng 06 năm 2017 đến 01 tháng 06 năm 2019.

Những hoạt động chính của dự án là:

- 1) Tiếp thu và làm chủ hệ thống mô hình kết hợp khí quyển – đại dương (AOGCM) dưới dạng mã nguồn mở từ CSIRO và ứng dụng vào dự báo bão hạn mùa trên khu vực Biển Đông;
- 2) Trang bị một hệ thống tính toán hiệu năng cao (HPC), bao gồm cả hệ thống lưu trữ dữ liệu, đảm bảo đủ điều kiện chạy hệ thống mô hình AOGCM để dự báo bão hạn mùa cho ĐHKHTN;

- 3) Cài đặt, thiết lập môi trường và xây dựng toàn bộ các chương trình tiện ích để vận hành hệ thống chạy dự báo ở chế độ nghiệp vụ trên hệ thống HPC của ĐHKHTN;
- 4) Đào tạo một số nhà khoa học Việt Nam có đủ trình độ và kỹ năng làm chủ được hệ thống mô hình và chạy dự báo ở chế độ nghiệp vụ trên HPC của ĐHKHTN;
- 5) Thử nghiệm hệ thống mô hình, đánh giá kết quả và viết các bài báo khoa học.

Bảng 1. Những kết quả đạt được so với cam kết trong thoả thuận tài trợ

STT	Kết quả, sản phẩm đăng ký theo thoả thuận	Kết quả, sản phẩm đạt được	Ghi chú
1	Bộ mô hình AOGCM mã nguồn mở phù hợp với khu vực Biển Đông Việt Nam	Bộ mô hình kết hợp khí quyển đại dương AOGCM mã nguồn mở toàn cầu và cho khu vực Biển Đông Việt Nam với tên gọi chính thức là Coupled CCAM	
2	Bộ chương trình dò tìm xoáy mã nguồn mở phù hợp với đầu ra của AOGCM	Bộ chương trình dò tìm xoáy mã nguồn mở phù hợp với đầu ra của mô hình Coupled CCAM (AOGCM) cho khu vực Biển Đông Việt Nam	Phù hợp với độ phân giải ngang 20km
3	Bộ chương trình mã nguồn mở tạo sản phẩm dự báo tổ hợp (TC-Ens) từ các kết quả dự báo thành phần	Bộ chương trình mã nguồn mở tạo sản phẩm dự báo tổ hợp (TC-Ens) từ các kết quả dự báo thành phần của mô hình Coupled CCAM cho khu vực Biển Đông Việt Nam	
4	Bộ chương trình điều khiển tự động hệ thống dự báo nghiệp vụ (AUTO-Ope) viết cho hệ điều hành của hệ thống tính toán hiệu năng cao	Bộ chương trình tự động chạy dự báo bão nghiệp vụ (AUTO-Ope) bằng mô hình Coupled CCAM cho khu vực Biển Đông Việt Nam trên hệ thống tính toán hiệu năng cao tại Trường ĐHKHTN	
5	Kết quả thử nghiệm và đánh giá sai số dự báo của HTNV-DBBHM	Kết quả thử nghiệm và đánh giá sai số dự báo của HTNV-DBBHM cho hai năm 2010 (ít bão) và 2013 (nhiều bão)	
6	Chuyển giao công nghệ: Hệ thống HTNV-DBBHM	<ul style="list-style-type: none"> • Hệ thống HTNV-DBBHM được cài đặt và chuyển giao cho Việt Nam chạy được ở chế độ nghiệp vụ trên hệ thống tính toán hiệu năng cao tại Trường ĐHKHTN 	Hệ thống đã và đang chạy ổn định

STT	Kết quả, sản phẩm đăng ký theo thoả thuận	Kết quả, sản phẩm đạt được	Ghi chú
7	<ul style="list-style-type: none"> Đào tạo nguồn nhân lực (4 cán bộ trẻ + 3 nhà khoa học); Hội thảo khoa học (4 hội thảo); Sản phẩm công bố (02 bài báo trong nước và 02 bài báo quốc tế)	<ul style="list-style-type: none"> 04 cán bộ trẻ được đào tạo 03 tháng tại CSIRO; 03 cán bộ khác đi làm việc và trao đổi khoa học 01 tháng tại CSIRO Đã tổ chức 04 hội thảo khoa học Đã đăng 02 bài báo trong nước	
8	Mua sắm trang thiết bị, phần mềm máy tính: 01 Hệ thống HPC	Một hệ thống tính toán hiệu năng cao (HPC) được cài đặt các phần mềm chuyên dụng	Hệ thống đang được sử dụng

Như vậy, so với đề cương ban đầu, ngoại trừ 02 bài báo quốc tế, toàn bộ những sản phẩm đã đăng ký trong thoả thuận tài trợ của dự án đều đã được hoàn thành đầy đủ về số lượng, chủng loại, khối lượng và chất lượng.

3. CÁCH TIẾP CẬN VÀ PHƯƠNG PHÁP THỰC HIỆN

Có thể chia các công trình nghiên cứu về dự báo bão hạn mùa thành ba nhóm chính: **1)** Nhóm phương pháp thống kê truyền thống (Traditional Statistical Model - TSM) hay thống kê kinh điển (Classical Statistical Model - CSM); **2)** Nhóm phương pháp thống kê - động lực (Statistical Dynamical Method - SDM); và **3)** Nhóm phương pháp mô hình động lực (Dynamical Model - DM).

3.1 Phương pháp thống kê truyền thống

Phương pháp thống kê truyền thống (TSM) dựa trên mối quan hệ thống kê giữa yếu tố dự báo (Predictand) và tập các nhân tố dự báo (Predictor) được xây dựng từ một tập số liệu phụ thuộc trong quá khứ (Training data), sau đó áp dụng mối quan hệ này cho tương lai. Yếu tố dự báo thường được chọn là số lượng xoáy thuận nhiệt đới (XTNĐ) và/hoặc số ngày hoạt động của chúng. Nhân tố dự báo nói chung khá đa dạng, nhưng chủ yếu tập trung vào các đặc trưng quy mô lớn, các mối quan hệ xa như các chỉ số ENSO, QBO,...

3.2 Phương pháp thống kê - động lực

Về cơ bản phương pháp này tương tự như TSM nhưng nhân tố dự báo là các biến trường dự báo từ các mô hình động lực (mô hình khí hậu toàn cầu GCM hoặc các mô hình khí hậu khu vực RCM).

3.3 Phương pháp mô hình động lực

Cách tiếp cận mô hình động lực (DM) thực chất là sử dụng một mô hình khí hậu toàn cầu (GCM) hoặc khu vực (RCM), có thể chỉ là mô hình khí quyển (AM) hoặc kết hợp (couple) mô hình khí quyển với mô hình đại dương, để mô phỏng các trường khí quyển/đại dương, sau đó xác định bão (mà thực ra là các “xoáy tựa bão” - Tropical Cyclone Like Vortex (TCLV)) từ các trường khí quyển. Có hai cách tiếp cận phổ biến theo hướng này là **1)** sử dụng trực tiếp sản phẩm của các mô hình toàn cầu (GCM) với độ phân giải đủ cao, và **2)** sử dụng các mô hình khí hậu khu vực (RCM) để hạ quy mô động lực sản phẩm của mô hình toàn cầu nhằm làm tăng độ phân giải mô hình.

Bản chất của phương pháp mô hình động lực là dựa trên việc giải hệ phương trình thủy động lực học khí quyển (và đại dương nếu là mô hình kết hợp) toàn cầu (hoặc khu vực trong trường hợp hạ quy mô động lực) khi cho trước điều kiện ban đầu và điều kiện biên. Kết quả của mô hình là các trường khí quyển trên các mực mô hình. Số lượng, thời gian và vùng hoạt động (hoặc tập hợp các quỹ đạo và các đặc trưng phản ánh cường độ bão) sẽ được xác định từ các trường đầu ra của mô hình. Ưu điểm chính của phương pháp này là tất cả các biến mô hình đều liên hệ với nhau thông qua các định luật bảo toàn vật lý (năng lượng, khối lượng và động lượng) nên không bị chi phối bởi những qui luật thống kê trong quá khứ. Nhược điểm chính của phương pháp này là phải tính toán nhiều nên đòi hỏi phải có máy tính mạnh, đặc biệt trong trường hợp sử dụng mô hình kết hợp Khí quyển - Đại dương. Hơn nữa, kết quả dự báo của mô hình phụ thuộc vào năng lực của chính mô hình cũng như độ chính xác của điều kiện ban đầu và điều kiện biên, nên sản phẩm dự báo luôn tiềm ẩn tính bất định.

3.4 Phương pháp và cách tiếp cận của dự án

Qua quá trình hợp tác giữa trường Đại học Khoa học Tự nhiên và CSIRO, nhận thấy rằng, CSIRO đã có hệ thống mô hình kết hợp Khí quyển - Đại dương toàn cầu (AOGCM) với ưu điểm vượt trội là có thể tăng độ phân giải tùy ý cho một miền được chọn. Với sản phẩm dự báo các trường khí quyển của mô hình đã được kiểm chứng qua thực tiễn nên bộ mô hình này hoàn toàn có khả năng đáp ứng được mục tiêu của đề tài. Do đó, trong dự án này phương pháp mô hình động lực (DM) sử dụng bộ mô hình toàn cầu kết hợp đại dương – khí quyển CCAM (Coupled CCAM) của CSIRO được lựa chọn.

Cách tiếp cận mà dự án sử dụng là tổ hợp sản phẩm dự báo bão hạn mùa từ các dự báo thành phần của Coupled CCAM, trong đó các dự báo thành phần được tạo ra khi chạy Coupled CCAM với các điều kiện ban đầu và điều kiện biên khác

nhau. Bao từ các dự báo thành phần được xác định thông qua bộ chương trình dò tìm xoáy. Cốt lõi của hệ thống dự báo bão hạn mùa mà dự án tiếp nhận từ CSIRO sẽ gồm ba khối chính: 1) Bộ mô hình Coupled CCAM; 2) Bộ chương trình dò tìm xoáy; và 3) Bộ chương trình tổ hợp sản phẩm bão dự báo.

4. HOẠT ĐỘNG VÀ SẢN PHẨM CỦA DỰ ÁN

4.1 Những hoạt động chính của dự án và kết quả nghiên cứu

Để đạt được mục tiêu của dự án, trên cơ sở phương pháp và cách tiếp cận đã trình bày, dự án đã tiến hành các nhóm công việc sau:

4.1.1 Phát triển hệ thống mô hình kết hợp AOGCM cho khu vực Biển Đông và Việt Nam

Đây là một trong ba bộ phận cốt lõi của hệ thống mô hình. Nó bao gồm hai mô hình thành phần là mô hình khí quyển (CCAM) và mô hình đại dương (OGCM) chạy song song và tương tác với nhau thông qua một bộ phận kết nối (COUPLE), được gọi là **Coupled CCAM**. Việc nghiên cứu lựa chọn sự tương thích giữa hai thành phần khí quyển và đại dương cho khu vực Biển Đông Việt Nam nhất thiết phải được thực hiện.

Kết quả thử nghiệm cho thấy rằng, với năng lực của hệ thống tính toán hiệu năng cao (HPC) hiện tại được trang bị cho dự án, mô hình nên được chạy với cấu hình gồm miền toàn cầu có độ phân giải 100 km còn miền Biển Đông có độ phân giải 20 km.

4.1.2 Xây dựng bộ chương trình dò tìm xoáy (TC-Detect) từ đầu ra của AOGCM

Khác với bài toán dự báo thời tiết, sản phẩm đầu ra của mô hình dự báo hạn mùa là cực kỳ lớn. Hơn nữa, bão không phải là biến dự báo của mô hình, nên trong trường hợp dự báo thời tiết, bão có thể được phát hiện “bằng mắt” thông qua việc xem xét các trường dự báo. Đối với bài toán dự báo mùa, bão được phát hiện một cách khách quan nhờ bộ chương trình dò tìm xoáy. Các xoáy bão được phát hiện sẽ được lưu và hiển thị thông tin về thời điểm hình thành, thời điểm kết thúc và quỹ đạo chuyển động của chúng. Dự án đã tiến hành xây dựng các thuật toán dò tìm xoáy bão, xây dựng chương trình thực hiện việc dò tìm từ sản phẩm đầu ra của hệ thống mô hình.

Kết quả thử nghiệm với nhiều phương án điều chỉnh, thay đổi bộ tham số khác nhau cho thấy sơ đồ dò tìm xoáy khá nhạy với một số tham số và do đó số lượng và quỹ đạo bão cũng bị thay đổi khi sử dụng các bộ tham số khác nhau. Trên

cơ sở thử nghiệm, cuối cùng dự án cũng đã lựa chọn được bộ tham số tối ưu cho Coupled CCAM.

4.1.3 Xây dựng và phát triển phương pháp tổ hợp sản phẩm dự báo bão (TC-Ens)

Trong dự báo hạn mùa nói chung, dự báo bão nói riêng, thời điểm làm dự báo sẽ là một tháng, nghĩa là mỗi ngày có thể chạy mô hình dự báo tối đa đến 4 lần, tổng cộng mỗi tháng có tối đa khoảng 120 lần dự báo. Các lần dự báo này được xem là các dự báo thành phần. Phụ thuộc vào năng lực tính toán, số thành phần này có thể giảm đi, chẳng hạn mỗi ngày là một thành phần. Dù là trong trường hợp nào thì cuối mỗi tháng sẽ có một loạt sản phẩm dự báo thành phần.

Do hạn chế về năng lực máy tính, trong phạm vi dự án số trường hợp được chạy là 12 theo lịch đặt tự động là 5 ngày/tháng bắt đầu từ ngày 01 hàng tháng (tức các ngày 01, 06, 11, 16, 21, 26) và mỗi ngày trong các ngày đó chỉ chạy 02 lần vào các kỳ 00UTC và 12UTC. Từ các kết quả chạy dự báo này, dự báo tổ hợp bão sẽ được thực hiện trên 12 thành phần này.

4.1.4 Chuẩn bị dữ liệu và xây dựng các chương trình tiền xử lý và xử lý đầu ra của mô hình

Số liệu được sử dụng làm điều kiện ban đầu và điều kiện biên cho hệ thống mô hình có thể được khai thác từ nhiều nguồn miễn phí khác nhau. Cho mục đích xây dựng, phát triển và thử nghiệm hệ thống mô hình, các nguồn số liệu tái phân tích và số liệu phân tích sẽ được lựa chọn. Mỗi một loại số liệu có thể có định dạng và cấu trúc khác nhau, do đó cần phải xây dựng các chương trình xử lý chúng để nhận được bộ số liệu có cấu trúc và định dạng phù hợp với hệ thống mô hình dự kiến sẽ được xây dựng và ứng dụng. Các chương trình này làm thành bộ chương trình tiền xử lý (PreProc).

Sản phẩm đầu ra của Coupled CCAM là các trường khí quyển, đại dương. Việc trường nào được sử dụng phụ thuộc vào sơ đồ thuật toán và các tiêu chí dò tìm xoáy. Để phục vụ cho việc dự báo bão, một bộ chương trình xử lý và kết xuất sản phẩm mô hình làm đầu vào cho chương trình dò tìm xoáy (TD-Detect) được xây dựng. Tập hợp các chương trình này làm thành bộ xử lý sản phẩm sau mô hình hay hậu xử lý (PosProc).

Hai bộ chương trình PreProc và PosProc được gọi là bộ Pre-Pos. Đây là công cụ xử lý dữ liệu đầu vào từ các nguồn NCEP CFS, NCEP CFSR và IRI, và sản phẩm đầu ra của Coupled CCAM.

4.1.5 Xây dựng và phát triển hệ thống điều khiển tự động dự báo nghiệp vụ (AUTO-Ope)

Để HTDBBHM có thể hoạt động ổn định và chính xác, nó phải được vận hành theo một qui trình chặt chẽ và phải đáp ứng được yêu cầu nghiệp vụ. Bởi vậy cần có một bộ chương trình điều khiển sao cho vừa đảm bảo đúng qui trình hoạt động của HTDBBHM vừa có thể tự động xử lý những sự cố bất thường và thông báo đến người giám sát về tình trạng hiện tại. Đó là bộ chương trình AUTO-Ope.

4.1.6 Thử nghiệm mô phỏng, dự báo bằng HTDBBHM và đánh giá

Mỗi hệ thống mô hình đều có những ưu nhược điểm vốn có của nó. Để đánh giá được những ưu nhược điểm này cần phải tiến hành thử nghiệm và đánh giá năng lực của nó trước khi đưa vào ứng dụng nghiệp vụ. Dự án đã tiến hành các thử nghiệm sau:

- 1) Thử nghiệm mô phỏng với Coupled CCAM: Hệ thống Coupled CCAM chạy với số liệu tái phân tích ERA Interim dùng làm điều kiện ban đầu và điều kiện biên. Hai năm được lựa chọn như là những trường hợp điển hình là 2010 (năm ít bão) và 2013 (năm nhiều bão). Kết quả thử nghiệm đã được kiểm chứng với số liệu quan trắc.
- 2) Thử nghiệm chương trình TC-Detect với bộ số liệu mô phỏng của Coupled CCAM: Dự án đã tiến hành thử nghiệm bộ chương trình TC-Detect từ kết quả của Coupled CCAM và kiểm chứng với số liệu quan trắc bão. Thông qua quá trình thử nghiệm này, các tham số, tiêu chí phát hiện bão sẽ được hiệu chỉnh sao cho tối ưu.
- 3) Thử nghiệm mô phỏng dự báo bằng Coupled CCAM và đánh giá sai số: Dự án đã tiến hành mô phỏng hoạt động của XTNĐ trên khu vực Biển Đông giai đoạn 1980-2014 bằng hệ thống mô hình chạy với độ phân giải ngang 20km, với miền tính bao phủ toàn bộ khu vực Biển Đông 0-30⁰N; 100-140⁰E. Kết quả dự báo được sử dụng để xác định bão mô hình nhờ chương trình TC-Detect và so sánh với số liệu quan trắc.
- 4) Thử nghiệm chương trình TC-Detect với sản phẩm dự báo lại: Ứng dụng chương trình TC-Detect cho bộ số liệu dự báo lại của Coupled CCAM.
- 5) Thử nghiệm dự báo thời gian thực bằng HTDBBHM: Dự án đã thiết lập hệ thống chạy dự báo HTDBBHM theo chế độ nghiệp vụ và đã thiết kế để hệ thống tự trích xuất sản phẩm cập nhật lên website. Kết quả thử nghiệm dự báo tổ hợp từ 30 dự báo thành phần của hệ thống Coupled CCAM với thời điểm dự báo là tháng 3/2019, hạn dự báo 9 tháng cho thấy tháng 7/2019 nhiều khả năng có 2 XTNĐ hoạt động ở phía bắc Biển Đông và có thể có thêm 1 cơn

khác hoạt động ở khu vực Đông Bắc quần đảo Philippine; tháng 8/2019 rất có thể có 2-3 cơn bão hoạt động ở nửa phía bắc Biển Đông, tháng 10/2019 có thể có bão đi vào khu vực Trung Trung Bộ Việt Nam.

4.1.7 Đào tạo nguồn nhân lực, hội nghị hội thảo, viết bài báo khoa học

Dự án đã gửi **04** cán bộ trẻ đi đào tạo tại CSIRO dưới sự hướng dẫn trực tiếp của các chuyên gia, trong đó 02 cán bộ từ ĐHKHTN, 01 cán bộ từ Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia, và 01 cán bộ từ Viện Vật lý Địa cầu. Các cán bộ này đã từng bước tiếp thu công nghệ, học tập và làm chủ tất cả các mô hình thành phần của hệ thống mô hình về mặt khoa học và công nghệ.

Dự án đã tổ chức 04 hội thảo và một loạt seminar khoa học, trong đó có những seminar có sự tham gia từ xa của các chuyên gia qua Skype. Các hội thảo, seminar khoa học đó là cơ hội để các nhà khoa học, các nhà quản lý chia sẻ kiến thức, kinh nghiệm, thông qua đó những vấn đề khoa học, công nghệ liên quan đến hệ thống mô hình sẽ được cải thiện. Hội nghị, hội thảo cũng là nơi quảng bá các hoạt động và sản phẩm của dự án.

Dự án đã công bố được 02 bài báo khoa học đăng trên Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội.

4.1.8 Mua sắm trang thiết bị, phần mềm máy tính

Dự án đã trang bị một hệ thống HPC và đặt tại Trường ĐHKHTN. Do kinh phí bị hạn chế, năng lực tính toán của HPC này chỉ mới bảo đảm tối thiểu điều kiện dự báo nghiệp vụ ở mức thử nghiệm. Đi kèm với hệ thống HPC một số phần mềm biên dịch mô hình cũng đã được trang bị và cài đặt.

4.2 Hoạt động của chuyên gia và những hỗ trợ, giúp đỡ của họ

Đội ngũ chuyên gia gồm ba nhà khoa học từ CSIRO đã làm việc hết mình, giúp đỡ hỗ trợ vô tư trong quá trình thực hiện dự án. Các nhà khoa học đó là TS. Jack Katzfey, TS. John McGregor và TS. Nguyễn Kim Chi. Họ chính là tác giả xây dựng nên hệ thống mô hình kết hợp khí quyển – đại dương Coupled CCAM đã được chuyển giao cho Việt Nam thông qua dự án. Trong thời gian thực hiện dự án các chuyên gia đến làm việc ở Việt Nam 4 đợt. Thời gian làm việc cho dự án của các chuyên gia chủ yếu ở CSIRO. Trong thời gian các cán bộ Việt Nam sang học tập và trao đổi khoa học ở CSIRO, các chuyên gia đã dành thời gian làm việc, hỗ trợ, giúp đỡ hết mình, đặc biệt đối với các cán bộ trẻ. Họ đã tận tình truyền đạt những kiến thức, kinh nghiệm của họ liên quan đến hệ thống mô hình kết hợp khí quyển – đại dương nói chung và hệ thống HTDBBHM nói riêng. Nhờ đó mà chỉ sau một thời gian ngắn toàn bộ hệ thống đã được chuyển giao, cài đặt và chạy thử

nghiệm thành công trên hệ thống HPC tại trường Đại học Khoa học Tự nhiên (ĐHKHTN), đồng thời các cán bộ Việt Nam đã nhanh chóng nắm được và làm chủ được quy trình hoạt động của hệ thống HTDBBHM.

Các khối tri thức và công nghệ được các chuyên gia chuyển giao cho Việt Nam được thực hiện một cách linh hoạt, mềm dẻo và bằng nhiều phương thức khác nhau. Có thể mô tả tóm tắt quá trình tương tác giữa chuyên gia và nhóm cán bộ Việt Nam như sau.

- 1) Trước hết, hệ thống mô hình kết hợp khí quyển – đại dương Coupled CCAM được các chuyên gia cài đặt, thử nghiệm trên hệ thống HPC của ĐHKHTN. Sau khi lựa chọn được bộ tham số cấu hình tối ưu, các cán bộ Việt Nam được hướng dẫn lại.
- 2) Trên cơ sở lựa chọn bộ số liệu mẫu thử nghiệm, các cán bộ Việt Nam sẽ thực hành chạy mô hình, từ các bước tiền xử lý, tính toán cho đến xử lý sau mô hình cho đến khi làm chủ được hoàn toàn quá trình vận hành hệ thống.
- 3) Từ kết quả nhận được, các chuyên gia đã hướng dẫn cụ thể, tỷ mỉ việc phân tích, đánh giá và đưa ra sản phẩm dự báo thông qua đợt đào tạo ngắn hạn tại CSIRO cũng như qua các lần seminar trực tuyến bằng Skype hoặc qua thư điện tử.
- 4) Những vấn đề nảy sinh trong quá trình chạy mô hình, xử lý số liệu đầu vào, xử lý kết quả đầu ra đều được đưa ra thảo luận tìm giải pháp xử lý thông qua các đợt công tác của chuyên gia đến Việt Nam. Đây đồng thời cũng là những cơ hội để các cán bộ Việt Nam và các chuyên gia thảo luận tìm kiếm giải pháp hợp lý.

4.3 Kết quả khoa học công nghệ và hiệu quả của dự án

Về mặt khoa học và công nghệ, dự án đã:

- 1) Góp phần làm sáng tỏ bản chất, tính dự báo được của hiện tượng (bão) ở qui mô hạn mùa trên khu vực Biển Đông và Việt Nam;
- 2) Chuyển giao cho Việt Nam một HTDBBHM nhằm cung cấp thông tin dự báo và cảnh báo sớm sự hoạt động của bão trên khu vực Biển Đông và Việt Nam. Đây cũng sẽ là hệ thống dự báo bão hạn mùa bằng mô hình động lực đầu tiên ở Đông Nam Á;
- 3) Trang bị cho Việt Nam một HTDBBHM tiên tiến, hiện đại tạo động lực thúc đẩy công tác nghiên cứu, phát triển nhằm nâng cao độ chính xác thông tin dự báo bão hạn mùa cho các nhà khoa học Việt Nam;

- 4) Đào tạo được một đội ngũ cán bộ khoa học trẻ của Việt Nam có đủ năng lực và trình độ để tiếp thu và làm chủ được hệ thống HTDDBHM, cũng như có thể đào tạo và chuyển giao HTDDBHM cho các cơ quan khác ở Việt Nam. Điều đó cũng đồng nghĩa với việc dự án đã góp phần đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao trong lĩnh vực dự báo bão hạn mùa;
- 5) Tạo cơ hội mở ra một hướng nghiên cứu mới, trong đó các nhà khoa học Việt Nam hoàn toàn có thể tiếp tục nghiên cứu, cải tiến hệ thống mô hình để nâng cao chất lượng dự báo bão hạn mùa, thúc đẩy nhanh hơn quá trình phát triển khoa học công nghệ cũng như hiểu biết sâu sắc hơn về tính dự báo được của hiện tượng;

Ngoài ra, xét trên phương diện lâu dài, hiệu quả của dự án còn được thể hiện ở các điểm sau:

- 1) Dự án đã trang bị cho ĐHKHTN và nhóm nghiên cứu REMOCLIC một HPC tương đối mạnh làm nền tảng, cơ sở hạ tầng tính toán cho những nghiên cứu ứng dụng và phát triển các sản phẩm khác của hệ thống mô hình Coupled CCAM cũng như các mô hình khác;
- 2) Các trường khí quyển, đại dương của hệ thống mô hình kết hợp Coupled CCAM cũng có thể được ứng dụng nghiên cứu để tạo ra các sản phẩm dự báo hạn mùa khác như dự báo lượng mưa tháng, dự báo hạn hán, dự báo nhiệt độ,... cũng như các hiện tượng thời tiết cực đoan. Điều đó cũng có nghĩa là dự án sẽ tạo cơ hội để cộng đồng các nhà khoa học Việt Nam mở rộng đối tượng nghiên cứu dự báo ngoài dự báo bão;
- 3) Trong quá trình thực hiện dự án nhóm nghiên cứu REMOCLIC đã thu hút sự quan tâm chú ý của các đồng nghiệp trong cộng đồng các nước Asean (nhóm SEARCI) và các chuyên gia từ Viện Công nghệ Karlsruhe, Cộng hòa Liên bang Đức (Karlsruhe Institute of Technology) và hiện nay nhóm đang có những hợp tác chặt chẽ với các cơ sở này.

4.4 Về các sản phẩm của dự án

Dự án có 3 nhóm sản phẩm chính là:

4.4.1 Hệ thống nghiệp vụ dự báo bão hạn mùa

- 1) Bộ chương trình mã nguồn mở tiền xử lý và xử lý đầu ra của mô hình (PrePos)
- 2) Bộ mô hình Coupled CCAM mã nguồn mở phù hợp với khu vực Biển Đông và Việt Nam

- 3) Bộ chương trình dò tìm xoáy mã nguồn mở phù hợp với đầu ra của Coupled CCAM
- 4) Bộ chương trình mã nguồn mở tạo sản phẩm dự báo tổ hợp (TC-Ens) từ các kết quả dự báo thành phần
- 5) Bộ chương trình điều khiển tự động hệ thống dự báo nghiệp vụ (AUTO-Ope) viết cho hệ điều hành của hệ thống tính toán hiệu năng cao

4.4.2 Đào tạo nguồn nhân lực

- 1) 4 cán bộ trẻ được đào tạo 3 tháng tại CSIRO về hệ thống HTNV-DBBHM
- 2) 3 cán bộ khác đi làm việc và trao đổi khoa học tại CSIRO
- 3) 4 Hội thảo khoa học nhằm cung cấp thông tin về khả năng ứng dụng HTNV-DBBHM ở Việt Nam cho cộng đồng các nhà khoa học Việt Nam

4.4.3 Tăng cường năng lực cơ sở hạ tầng tính toán cho cơ quan chủ trì và nhóm nghiên cứu

- 1) Một hệ thống tính toán hiệu năng cao đã cài đặt các phần mềm chuyên dụng và HTNV-DBBHM chạy ở chế độ nghiệp vụ
- 2) Hệ thống lưu trữ dữ liệu phục vụ nghiên cứu và đào tạo.

4.5 Mô tả quy trình vận hành hệ thống

Quy trình vận hành hệ thống mô hình được thực hiện theo các bước sau đây.

- 1) Tải các bộ số liệu được sử dụng làm điều kiện ban đầu và điều kiện biên cho mô hình Coupled CCAM được tải về từ các nguồn sẵn có.
- 2) Chạy bộ chương trình tiền xử lý (Pre-Processing) để xử lý và định dạng lại dữ liệu cho phù hợp với hệ thống Coupled CCAM.
- 3) Chạy hệ thống Coupled CCAM để tích phân dự báo.
- 4) Chạy bộ chương trình xử lý sau mô hình (Post-Processing) để thực hiện việc trích xuất các trường dự báo cần thiết cho chương trình dò tìm xoáy (TC-Detection).
- 5) Chạy bộ chương trình dò tìm xoáy (TC-Detection) để xác định số lượng và quỹ đạo “bão mô hình”.
- 6) Tổ hợp sản phẩm dự báo.
- 7) Biểu diễn kết quả dự báo bằng các công cụ đồ họa như bản đồ, đồ thị.
- 8) Cập nhật sản phẩm dự báo lên website.

4.6 Đánh giá chung về kết quả/sản phẩm của dự án

Có thể nói dự án đã hoàn thành tốt nhiệm vụ và đã đạt được các mục tiêu ban đầu. Đó là:

- 1) Đã xây dựng và phát triển được một hệ thống nghiệp vụ dự báo bão hạn mùa (HTDBBHM) cho Việt Nam với hạn dự báo đến 6 tháng và có thể chạy hệ thống để dự báo đến hạn 9 tháng;
- 2) Đã thiết lập được một hệ thống tính toán hiệu năng cao (HPC) kèm theo các phần mềm chuyên dụng và HTDBBHM đã được cài đặt và chạy dự báo ở chế độ nghiệp vụ;
- 3) Đã góp phần nâng cao trình độ chuyên môn nghiệp vụ, nâng cao năng lực nghiên cứu cho các cán bộ tham gia dự án thông qua các đợt thực tập ở nước ngoài và làm việc cùng chuyên gia ở Việt Nam; và
- 4) Thông qua quá trình hoạt động của dự án, mối quan hệ hợp tác quốc tế giữa nhóm chuyên gia CSIRO và các nhà khoa học Việt Nam đã được củng cố và tăng cường, cơ sở vật chất phục vụ công tác đào tạo và nghiên cứu khoa học của nhóm REMOCLIC, của Bộ môn Khí tượng, của khoa Khí tượng thủy văn và Hải dương học trường Đại học Khoa học Tự nhiên cũng được tăng cường.

Ngoại trừ 02 bài báo Quốc tế chưa kịp hoàn thành, tất cả các sản phẩm và kết quả của dự án đều đã đáp ứng được yêu cầu của Hợp đồng đã ký kết giữa Cơ quan chủ trì là trường ĐHKHTN mà đại diện là nhóm nghiên cứu REMOCLIC và Đơn vị tài trợ là Ban quản lý Dự án FIRST.

5. TÁC ĐỘNG/HIỆU QUẢ

Sự thành công của dự án sẽ được nhiều nhà khoa học quan tâm, ít nhất là nhóm các nhà khoa học trong khu vực chịu ảnh hưởng của ỏ bão Tây Bắc Thái Bình dương và Biển Đông, như Nhật Bản, Đài Loan, Philippines, Trung Quốc và một số vùng lãnh thổ khác. Qua đó hy vọng dự án sẽ tạo cơ hội hình thành một cộng đồng quốc tế các nhà khoa học trong đó thông tin, kinh nghiệm, tri thức sẽ được chia sẻ cùng nhau, dẫn đến sự hình thành các dự án liên quốc gia thu hút đầu tư từ các nguồn ngân sách khác như Ngân hàng Phát triển Châu Á (ADB), Mạng lưới nghiên cứu biến đổi toàn cầu Châu Á - Thái Bình dương (APN) hay Chương trình phát triển Liên hợp quốc (UNDP),...

Dự báo bão hạn mùa là vấn đề mới ở Việt Nam cũng như các nước Đông Nam Á. Do vậy, sự thành công của dự án sẽ tạo một bước đột phá là lần đầu tiên Việt Nam có được một hệ thống dự báo bão hạn mùa nghiệp vụ bằng mô hình động lực có khả năng cung cấp thông tin dự báo với hạn đến 6 tháng hoặc dài hơn.

Đối với Cơ quan chủ trì và nhóm REMOCLIC, hệ thống mô hình cùng với cơ sở hạ tầng tính toán HPC sẽ góp phần nâng cao năng lực cơ sở vật chất và công cụ cho việc nghiên cứu phát triển và ứng dụng cũng như hỗ trợ đào tạo, góp phần nâng cao chất lượng nguồn nhân lực Khí tượng khí hậu cho Việt Nam.

Sau khi đã được chuyển giao cho Việt Nam thông qua nhóm REMOCLIC và trường ĐHKHTN hệ thống này có thể được chuyển giao tiếp cho các cơ quan nghiệp vụ cũng như các cơ sở đào tạo.

Các Cơ quan nghiệp vụ như Trung tâm dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu có thể ứng dụng hệ thống như là một bộ công cụ để phục vụ hoạt động dự báo nghiệp vụ trong tương lai. Những thông tin dự báo từ hệ thống mô hình là nguồn tham khảo tốt và đáng tin cậy để xây dựng các bản tin dự báo bão hạn mùa phục vụ phòng tránh thiên tai, đảm bảo an ninh quốc phòng, an sinh xã hội và phục vụ phát triển kinh tế Biển.

Các Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, TP Hồ Chí Minh cũng như các cơ sở Đào tạo và nghiên cứu khác cũng có thể được chuyển giao phục vụ nghiên cứu và giảng dạy.

Về phương thức chuyển giao, tất cả các cơ quan có nhu cầu đều có thể tiếp nhận miễn phí toàn bộ bộ chương trình nguồn của hệ thống HTDBBHM và sử dụng cho mục đích nghiên cứu cũng như dự báo nghiệp vụ. Về nguyên tắc, nhóm REMOCLIC sở hữu bản quyền hệ thống nên kết quả nghiên cứu nếu được công bố trên các tạp chí hoặc xuất bản phẩm khác cần phải có sự ghi nhận vai trò của nhóm. Nếu sử dụng cho mục đích thương mại cần được sự đồng ý của nhóm REMOCLIC và các chuyên gia CSIRO. Ngoài ra, nhóm REMOCLIC luôn sẵn sàng hợp tác với các bên có nhu cầu để cùng khai thác các sản phẩm khác của hệ thống cũng như chia sẻ tri thức.

6. KẾT LUẬN

Sau hai năm thực hiện, tính từ lúc Hợp đồng được ký kết, dự án đã hoàn thành về cơ bản tất cả các nội dung đã đặt ra và đã đạt được mục tiêu ban đầu của dự án. Có thể liệt kê những kết quả nổi bật của dự án là:

- 1) Dự án đã mời được ba chuyên gia giỏi từ CSIRO tham gia dự án. Họ chính là tác giả của bộ mô hình Coupled CCAM đã được chuyển giao cho Việt Nam với mục đích dự báo bão hạn mùa trên khu vực Biển Đông Việt Nam. Trong quá trình thực hiện dự án các chuyên gia đã hết sức tận tình hỗ trợ, giúp đỡ các nhà khoa học Việt Nam vô tư, vô điều kiện. Đó là một trong những nhân tố cơ bản tạo nên sự thành công của dự án.

- 2) Thông qua dự án, một bộ mô hình kết hợp khí quyển – đại dương Coupled CCAM mã nguồn mở đã được chuyển giao trọn gói cho Việt Nam cho mục đích dự báo bão hạn mùa trên khu vực Biển Đông Việt Nam. Hệ thống HTDBBHM dựa trên bộ mô hình Coupled CCAM cũng đã được xây dựng và phát triển để chạy dự báo nghiệp vụ trên hệ thống máy tính HPC của ĐHKHTN. Đây là hệ thống dự báo bão hạn mùa bằng mô hình động lực đầu tiên không những ở Việt Nam mà cả ở Đông Nam Á.
- 3) Dự án đã góp phần đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao cho Việt Nam trong lĩnh vực dự báo bão hạn mùa nói riêng, mô hình hoá thời tiết, khí hậu khu vực nói chung. Điều đó được thể hiện ở chỗ dự án đã gửi được 04 cán bộ trẻ đi đào tạo ở CSIRO ba tháng và 03 cán bộ khác sang làm việc và trao đổi khoa học ở CSIRO một tháng. Ngoài ra, qua các lần hội thảo, seminar khoa học và các chuyến làm việc của chuyên gia đến Việt Nam nhiều cán bộ Việt Nam đã được trao đổi học hỏi lẫn nhau cũng như với các chuyên gia, góp phần nâng cao trình độ, nhận thức.
- 4) Việc triển khai dự án cũng đã góp phần tăng năng lực tính toán cho nhóm nghiên cứu REMOCLIC nói riêng, tập thể cán bộ trường ĐHKHTN nói chung nhờ được trang bị một hệ thống HPC.
- 5) Hệ thống HTNV-DBBHM được chuyển giao đã có thể chạy dự báo với hạn dự báo 9 tháng thay vì hạn 6 tháng như cam kết ban đầu trong thoả thuận tài trợ. Có thể xem đây là điểm vượt trội của dự án.
- 6) Sản phẩm của bộ mô hình Coupled CCAM không chỉ sử dụng để dự báo bão mà còn có thể dùng để dự báo hạn mùa các yếu tố và hiện tượng khác, như dự báo mưa, hạn hán, không khí lạnh, nắng nóng, v.v. Đó chính là giá trị gia tăng của dự án.

Những thông tin về dự án đã được truyền thông trong nước đăng tải tại <http://tiasang.com.vn/-doi-moi-sang-tao/Viet-Nam-lam-chu-cong-nghe-du-bao-bao-han-mua-bang-mo-hinh-dong-luc-16401>, <http://tiasang.com.vn/-tin-tuc/Viet-Nam-lam-chu-cong-nghe-du-bao-bao-han-mua-truoc-6-thang-cho-khu-vuc-Bien-Dong-15286>, <https://www.youtube.com/watch?v=WK3UCLDAMqM&t=4s>.

So sánh với những kết quả dự kiến ban đầu, dự án chưa có được 02 bài báo quốc tế như đã cam kết trong thoả thuận tài trợ. Điều này làm cho nhóm thực hiện dự án cũng như các chuyên gia hết sức băn khoăn và muốn gia hạn thời gian thực hiện dự án. Lý do chưa hoàn thành được 02 bài báo ISI là do khối lượng tính toán cho các bài báo quá lớn, đòi hỏi nhiều thời gian hơn trong khi năng lực tính toán của hệ thống HPC bị hạn chế. Mặc dù vậy, nội dung các bài báo đã được lên

khuôn và nhóm nghiên cứu vẫn đang tiến hành hoàn thiện để gửi đăng dù dự án buộc phải đóng.

7. BÀI HỌC KINH NGHIỆM

Bài học kinh nghiệm rút ra từ quá trình thực hiện dự án có thể được tóm gọn như sau: Hợp tác quốc tế là chìa khoá mở ra cánh cửa hội nhập. Tiếp thu và làm chủ công nghệ tiên tiến là con đường ngắn nhất để tiếp cận được nền khoa học công nghệ hiện đại. Tin tưởng vào năng lực của đội ngũ các nhà khoa học trẻ và định hướng đúng, tạo môi trường làm việc tốt cho họ chắc chắn mọi việc dù khó đến đâu cũng có thể giải quyết thành công. Sự thấu hiểu, cảm thông, hỗ trợ và đồng hành của các nhà quản lý là nhân tố quan trọng, giảm bớt rủi ro trong quá trình thực hiện dự án.

Thiếu sót nhỏ nhưng không thể không nói đến là dự án chưa hoàn thành được 02 bài báo quốc tế. Nguyên nhân của vấn đề này là do thời gian thực hiện dự án quá ngắn (thực tế chưa đầy 24 tháng) so với tham vọng của chủ nhiệm dự án. Thiết nghĩ đây cũng là bài học cho những đề tài, dự án khác.

LỜI CẢM ƠN

Đóng góp vào sự thành công của dự án trước hết phải kể đến sự hợp tác làm việc, sự giúp đỡ, hỗ trợ nhiệt tình, vô tư, vô điều kiện của ba chuyên gia đến từ CSIRO, Australia là TS. Jack Katzfey, TS. John McGregor và TS. Nguyễn Kim Chi. Mặc dù không trực tiếp tham gia vào dự án nhưng TS. Marcus Thatcher, là tác giả phát triển mô hình đại dương của hệ thống Coupled CCAM, cũng là người đã hỗ trợ, giúp đỡ hết sức nhiệt tình, vô tư trong quá trình thực hiện dự án cũng như trong thời gian các cán bộ Việt Nam học tập, trao đổi ở CSIRO. Góp phần quan trọng và có tính quyết định vào sự thành công của dự án là sự hỗ trợ tận tình, tạo mọi điều kiện thuận lợi trong quá trình triển khai dự án của Ban Giám hiệu và các Phòng chức năng của trường ĐHKHTN. Đóng góp vào sự thành công của dự án là sự làm việc hết mình, sự nỗ lực vượt qua mọi khó khăn, thử thách của các thành viên nhóm REMOCLIC. Góp phần vào sự thành công của dự án còn có các chuyên gia, các nhà khoa học từ Trung tâm Khí tượng Thủy văn Quốc gia, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Viện Vật lý địa cầu, các bậc lão thành cũng như các cán bộ Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học trường ĐHKHTN. Cuối cùng, là Ban Quản lý dự án FIRST, những người có vai trò quyết định đối với sự hình thành dự án, khoản tài trợ, lộ trình thực hiện và sự thành công

của dự án. Nhân đây tập thể nhóm thực hiện dự án REMOCLIC xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc, lời cảm ơn chân thành nhất.